



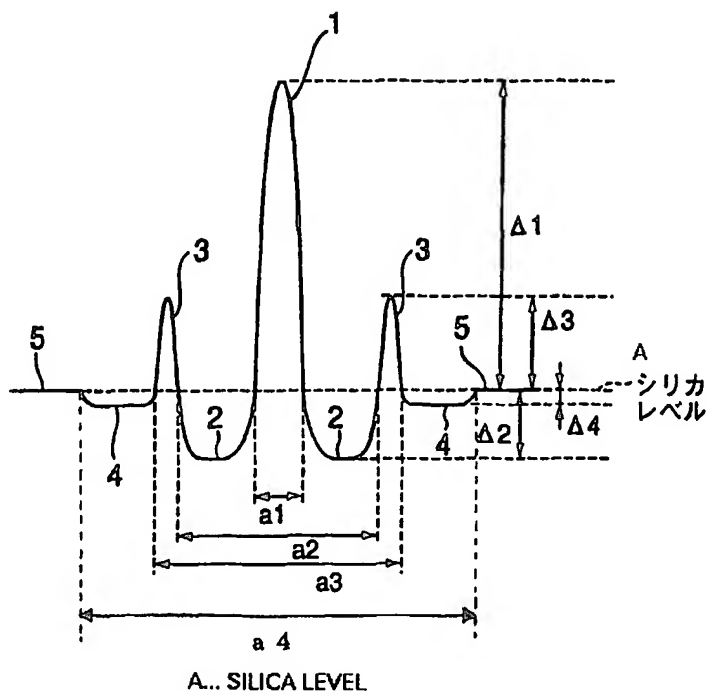
(51) 国際特許分類7 G02B 6/22, 6/16	A1	(11) 国際公開番号 WO00/70378 (43) 国際公開日 2000年11月23日(23.11.00)
(21) 国際出願番号 PCT/JP00/03148 (22) 国際出願日 2000年5月17日(17.05.00) (30) 優先権データ 特願平11/135799 1999年5月17日(17.05.99) JP 特願2000/118217 2000年4月19日(19.04.00) JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 古河電気工業株式会社 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.)(JP/JP) 〒100-8322 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 Tokyo, (JP) (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 荒井慎一(ARAI, Shinichi)(JP/JP) 杉崎隆一(SUGIZAKI, Ryuichi)(JP/JP) 相曽景一(AISO, Keiichi)(JP/JP) 〒100-8322 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内 Tokyo, (JP) (74) 代理人 五十嵐清(IGARASHI, Kiyoshi) 〒220-0011 神奈川県横浜市西区高島2丁目10番13号 横浜東口ビル908号室 Kanagawa, (JP)	(81) 指定国 JP, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE) 添付公開書類 国際調査報告書	

(54)Title: OPTICAL FIBER AND OPTICAL TRANSMISSION LINE COMPRISING THE OPTICAL FIBER

(54)発明の名称 光ファイバおよびその光ファイバを用いた光伝送路

(57) Abstract

An optical fiber having a negative dispersion and a negative dispersion slope in the wavelength band used, having little distortion due to the nonlinear phenomenon so as to be adaptive to wavelength multiplex optical transmission, and capable of operating in a single mode. The relationships between the relative refractive-index differences $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$, and $\Delta 4$, of a center core (1), a first side core (2), a second side core (3), and inner clad part (4) to the silica level respectively are: $1.7 \leq \Delta 1$, $\Delta 2 \leq 0.3\%$, $0.25\% \leq \Delta 3$, $\Delta 4 < 0$. The quotient A of the diameter a_1 of the center core (1) divided by the diameter a_2 of the first side core (2) is $0.15 \leq A \leq 0.5$, and the quotient B of the diameter a_3 of the second side core (3) divided by the diameter a_2 of the first side core (3) is $1 < B \leq 2$. As a result, the absolute values of the negative dispersion and the negative dispersion slope in the wavelength $1.55 \mu\text{m}$ band are large, light is confined in a core part by means of the second side core (3), the effective core area is large, and the effective cut-off frequency is short because of the provision of the inner clad part (4).



A... SILICA LEVEL

(57)要約

本発明は、使用波長帯において負の分散と負の分散スロープとを有し、波長多重光伝送に適するように、非線形現象による歪みを抑制できるシングルモード動作可能な光ファイバを提供する。センタコア（１）と、第１サイドコア（２）と、第２サイドコア（３）と、内部クラッド部（４）のシリカレベルに対する比屈折率差をそれぞれ $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$ としたとき、 $1.7\% \leq \Delta 1$ 、 $\Delta 2 \leq -0.3\%$ 、 $0.25\% \leq \Delta 3$ 、 $\Delta 4 < 0$ とする。また、センタコア１の直径 a_1 を第１サイドコア２の直径 a_2 で割った値 A が $0.15 \leq A \leq 0.5$ 、第２サイドコア２の直径 a_3 を第１サイドコア３の直径 a_2 で割った値 B が $1 < B \leq 2$ となるようにする。この構成により、波長 $1.55 \mu m$ 帯における負の分散と負の分散スロープの絶対値を共に大きくすると共に、第２サイドコア（３）により光をコア部に閉じ込め、有効コア断面積を大きくし、内部クラッド部（４）を設けて有効遮断波長を短波長化する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサオ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	MZ	モザンビーク	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CU	キューバ	JP	日本	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CY	キプロス	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
CZ	チェッコ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		

明 細 書

光ファイバおよびその光ファイバを用いた光伝送路

技術分野

本発明は、例えば波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯等の波長帯における波長多重光伝送に適した光ファイバおよびその光ファイバを用いた波長多重光伝送路に関するものである。

背景技術

光通信の伝送網として、波長 $1.3\mu\text{m}$ の波長帯に零分散を持つシングルモード光ファイバが世界中に敷設されている。最近においては、情報社会の発展により、通信情報量が飛躍的に増大する傾向にある。このような情報の増大化に伴い、波長多重伝送（WDM伝送）が通信分野に広く受け入れられ、今や波長多重伝送の時代を迎えている。波長多重伝送は、光通信の波長が一波長でなく、複数の波長に分割して複数の光信号を伝送する方式であり、大容量高速通信に適した光伝送方式である。

しかしながら、既設の $1.3\mu\text{m}$ 付近に零分散を持つ伝送用シングルモード光ファイバを使用し、 $1.3\mu\text{m}$ 付近の波長帯を用いて波長多重光通信を行う場合には、エルビウムドープ光ファイバを用いた一般的な光増幅器の利得帯域（ $1500\text{nm}\sim 1650\text{nm}$ が含まれる）である波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯（例えば $1530\text{nm}\sim 1570\text{nm}$ ）と波長域が一致しない。そのため、 $1.3\mu\text{m}$ 付近の波長帯を用いて光通信を行う場合は、光増幅器が使用できず、長距離光通信に支障を来すという問題がある。この問題を解決するため、最近においては、光増幅器を使

用し、既設の $1.3 \mu\text{m}$ 付近の波長帯に零分散を持つシングルモード光ファイバを用いて、 $1.55 \mu\text{m}$ の波長帯での波長多重光通信が行われている。

しかしながら、 $1.3 \mu\text{m}$ 付近に零分散を持つシングルモード光ファイバを用いて $1.55 \mu\text{m}$ の波長帯で光通信を行うと、既設のシングルモード光ファイバは、 $1.55 \mu\text{m}$ の波長帯の中心波長である波長 $1.55 \mu\text{m}$ において、通常、約 17 ps/nm/km の正の分散を有し、さらに、シングルモード光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において約 $0.06 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の正の分散スロープを持つ。そのため、シングルモード光ファイバ中を光信号が伝搬するにつれ、波長多重の各波長の信号の波形歪みが大きくなり、受信側で信号の分離・識別が困難になり、光通信の品質が低下し、光通信の信頼性が失われるという問題が生じた。

また、光通信の伝送網としては、零分散波長を光増幅器の利得帯域である $1.55 \mu\text{m}$ 付近にシフトさせた分散シフト光ファイバが提案されている。ところで、光通信の波長における分散が零に近くなると、四光波混合という非線形現象が発生し易くなるので、特に波長多重伝送においては、光通信の波長において非線形現象が発生しない程度の微小分散を有する分散シフト光ファイバを使用することが望まれている。

しかしながら、前述の微小分散を有する分散シフト光ファイバを長距離の光通信に用いると、微小分散の影響が無視できなくなるため、微小分散を有する分散シフト光ファイバを単独で長距離の大容量高速通信に用いることは困難である。

そこで、このような問題を解消すべく、 $1.3 \mu\text{m}$ 零分散シングルモード光ファイバの波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯における分散を補償するために、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において大きな負の分散を有する光ファイバが前記

シングルモード光ファイバ伝送路に挿入され、それにより、前記シングルモード光ファイバが波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯に持つ正の分散を補償して波長分散による伝送信号の劣化を抑制する方法が提案されている。

上記分散を補償する光ファイバの例として、例えば、第6図に示すような単峰型の屈折率プロファイルを有する光ファイバが提案されている。単峰型の屈折率プロファイルを有する光ファイバは、シリカレベルよりも屈折率が高いセンタコア1の周りを外部クラッド5で覆って形成されるものである。提案例の光ファイバは、外部クラッド5の屈折率がシリカガラスの屈折率レベルよりも小さく形成されている。

しかしながら、単峰型の屈折率プロファイルを有する光ファイバの波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯における分散値は、せいぜい -80 ps/nm/km 程度が実用上の限界値であり、それ以上小さい分散値の（負の分散の絶対値が大きい）光ファイバを単峰型の屈折率プロファイルによって実現することはできなかった。そのため、前記シングルモード光ファイバの正の分散を単峰型の屈折率プロファイルの光ファイバによって補償するためには、必要とする分散補償用光ファイバの長さが長くなり、その光ファイバをコイル化してケース内に収めて形成される分散補償用光ファイバモジュールの小型化が困難であった。

また、単峰型の屈折率プロファイルの光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯の分散スロープが正であり、したがって、前記シングルモード光ファイバの波長分散を波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯の広帯域において補償することが困難であった。

そこで、第7図に示すようなW型の屈折率プロファイルを有する光ファイバが提案された。W型の屈折率プロファイルを有する光ファイバは、クラッドレベルよりも屈折率が高いセンタコア1の周りをクラッドレベルよりも屈折率が小さいサイドコア12で覆い、通常はサイドコア

12の周りをほぼシリカレベルの屈折率を有する外部クラッド5で覆って形成されている。

W型の屈折率プロファイルを有する光ファイバは、単峰型の屈折率プロファイルを有する光ファイバに比べ、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の分散値を小さく（負の分散の絶対値を大きく）することができ、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散値が $-120\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度の光ファイバが実用化されている。また、W型の屈折率プロファイルを有する光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯における分散スロープを負とすることができるため、前記シングルモード光ファイバの正の分散スロープを実用可能な程度に補償することができ、単峰型の屈折率プロファイルの光ファイバに比べ、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の広帯域における分散を補償することができる。

なお、例えば日本国特許出願の公開公報の特開平8-313750号には、W型の屈折率プロファイルの詳細な構造を適切に決定した光ファイバを用いて、前記シングルモード光ファイバの波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯における波長分散および分散スロープを補償することにより、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の波長分散および分散スロープをほぼ零に補償することが提案されている。また、1996年電子情報通信学会エレクトロソサエティ大会C-172においては、W型の屈折率プロファイルの光ファイバを用いて、前記シングルモード光ファイバの分散を補償することにより、波長 $1500\sim 1600\text{nm}$ の波長帯における波長分散を $-1\sim 0\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ に抑えたことが報告されている。

しかしながら、W型の屈折率プロファイルの光ファイバにおいては、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の中心波長である波長 $1.55\mu\text{m}$ において補償対象の光ファイバが有する正の分散スロープを完全補償できるような負の分散スロープを有し、かつ、 $-120\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ よりも小さい分

散を有する光ファイバを形成することは困難であった。

そのため、W型の光ファイバを用いた場合にも、前記シングルモード光ファイバの分散補償に必要とする光ファイバの長さが長くなり、その光ファイバをコイル化してケース内に収めて形成される光ファイバモジュールの小型化が困難であった。

また、従来の光ファイバは、単峰型とW型のいずれにおいても、シングルモードで光の伝搬していく領域（実効コア断面積）が小さく、光ファイバ内を伝搬する光のパワー密度が高くなり、加えて、前記の如く、使用する光ファイバの長さが長くなるので、光ファイバ内で非線形現象が発生しやすかった。そうすると、この非線形現象による信号波形の歪みの問題が生じ、正確な通信ができなくなるため、光ファイバを用いた分散補償器の利用を制限せざるを得なかった。

また、微小分散を有する分散シフト光ファイバの分散を補償するための光ファイバを用いて波長分散による伝送信号の劣化を防ぐことも考えられるが、単峰型やW型の屈折率プロファイルの光ファイバでは、微小分散を有する分散シフト光ファイバの分散および分散スロープを完全に補償することは困難であると考えられる。

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その第1の目的は、例えば波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯といった使用波長帯における単位長さあたりの負の分散の絶対値と負の分散スロープの絶対値が共に大きいことにより、短い長さで使用波長帯より短波長側に零分散波長を有するシングルモード光ファイバの正の分散を前記使用波長帯の広帯域において補償することができる光ファイバや、実効コア断面積が大きくて非線形現象による信号波形の歪みを低減できる光ファイバを提供することにある。第2の目的は、このような光ファイバを用いることにより、使用波長帯の広帯域において分散による信号波形の歪みや非線形現象によ

る信号波形の歪みが小さく、波長多重伝送用として適した光伝送路を提供することにある。

発明の開示

上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決する。すなわち、本発明の光ファイバの第1の構成は、センタコアの外周側を第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの外周側を第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの外周側を外部クラッドで覆って形成される光ファイバであって、前記センタコアの屈折率の最大値を n_1 とし、前記第1サイドコアの屈折率の最小値を n_2 とし、前記第2サイドコアの屈折率の最大値を n_3 とし、前記外部クラッドの屈折率を n_c としたとき、 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ と成しており、前記外部クラッドに対する前記センタコアの比屈折率差を Δ_1 とし、前記外部クラッドに対する前記第1サイドコアの比屈折率差を Δ_2 とし、前記外部クラッドに対する前記第2サイドコアの比屈折率差を Δ_3 としたときに、 $1.7\% \leq \Delta_1$ 、 $\Delta_2 \leq -0.3\%$ 、 $0.25\% \leq \Delta_3$ と成し、前記センタコアの直径 a_1 を前記第1サイドコアの直径 a_2 で割った値 A が $0.15 \leq A \leq 0.5$ 、前記第2サイドコアの直径 a_3 を前記第1サイドコアの直径 a_2 で割った値 B が $1 < B \leq 2$ と成していることを特徴とする。

好ましくは、第2サイドコアは1つ以上の屈折率極大部を有し、この1つ以上の屈折率極大部のうち屈折率最大部の位置が第2サイドコアの径方向の幅中心部よりも第1サイドコア側寄りとする。

さらに好ましくは、第2サイドコアの外周側を内部クラッド部で覆い、該内部クラッド部の外周側を外部クラッドで覆う構成とし、前記内部クラッド部の屈折率を前記外部クラッドの屈折率よりも小さくする。

また、使用波長帯における波長分散を -120 ps/nm/km 未満

とする。

さらに、使用波長帯における波長分散 D を波長分散スロープ S で割った D/S 値を $0 \sim 500 \text{ nm}$ とし、より好ましくは、 D/S 値を $0 \sim 300 \text{ nm}$ とする。

そして、本発明の光ファイバの使用波長帯は波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯とすることが特に好ましい。

また、本発明の光伝送路の第1の構成は、使用波長帯よりも短波長側の波長帯に零分散をもつシングルモード光ファイバに上記構成の本発明の光ファイバを接続することにより使用波長帯における分散スロープをほぼ零としたことを特徴とする。

さらに、本発明の光伝送路の第2の構成は、使用波長帯よりも短波長側の波長帯に零分散をもつシングルモード光ファイバに、上記構成の本発明の光ファイバと、使用波長帯における波長分散 D を波長分散スロープ S で割った D/S 値が 300 nm より大きい光ファイバ又は前記 D/S 値が負の光ファイバとを接続することにより使用波長帯における分散スロープと分散値を共にほぼ零としたことを特徴とする。

本発明者は、光ファイバの屈折率プロファイルをW型の屈折率プロファイルにすると、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯における単位長さあたりの負の分散の絶対値を比較的大きくできることに着目し、W型の屈折率プロファイルにおける詳細な構造を変えたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯における

ことが判明した。

そこで、W型の屈折率プロファイルにおけるサイドコアの外周にサイドコアよりも屈折率が高いセグメントコアを設け、W型の屈折率プロファイルのセンタコアから漏れて伝搬しない状態の光を屈折率の高いセグメントコアが閉じ込める（クラッド側に逃がさない）ことにより、光を伝搬させると共に、前記曲げ損失を低減することにした。また、このことにより、光がセンタコアの中心部以外の部分にも広く分布しながら伝搬していくことになり、実質的に実効コア断面積を大きくして、伝搬する光のパワー密度を減ずることが可能となることが分かった。

上記検討に基づき、本発明の光ファイバにおいては、W型屈折率プロファイルにおけるサイドコア12を第1サイドコアと称し、前記セグメントコアを第2サイドコアと称することにし、センタコアの屈折率の最大値 n_1 と第1サイドコアの屈折率の最小値 n_2 と第2サイドコアの屈折率の最大値 n_3 と外部クラッドの屈折率 n_c との関係を、 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ とした。また、センタコアの直径 a_1 を前記第1サイドコアの直径 a_2 で割った値 A が $0.15 \leq A \leq 0.5$ 、第2サイドコアの直径 a_3 を第1サイドコアの直径 a_2 で割った値 B が $1 < B \leq 2$ となるようにし、実効コア断面積の拡大を可能とした。

そして、さらに、外部クラッドに対するセンタコアの比屈折率差 Δ_1 と、外部クラッドに対する第1サイドコアの比屈折率差 Δ_2 と、外部クラッドに対する第2サイドコアの比屈折率差 Δ_3 の各値を $1.7\% \leq \Delta_1$ 、 $\Delta_2 \leq -0.3\%$ 、 $0.25\% \leq \Delta_3$ と具体的に決定することにより、光ファイバ単位長さ当たりの分散値を例えば -120 ps/nm/km 未満といった小さな値（負の分散の絶対値を大きな値）とし、負の分散スロープの絶対値を大きくすることを可能とした。

本発明者による前記検討に基づいて屈折率プロファイルを最適化する

ことにより、本発明の光ファイバは、使用波長帯における単位長さあたりの負の分散の絶対値と負の分散スロープの絶対値が共に大きい光ファイバとしたものであるから、短い長さで、例えば $1.3 \mu\text{m}$ 帯零分散シングルモード光ファイバの正の分散を波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯といった使用波長帯の広帯域において補償することができる光ファイバや、実効コア断面積を拡大して非線形現象による歪みを低減できる光ファイバとすることができる。

また、第2サイドコアに1つ以上の屈折率極大部を持たせた構成の光ファイバによれば、第2サイドコアの屈折率分布が平坦な屈折率極大部を持たない光ファイバに比べ、負の分散の絶対値と負の分散勾配の絶対値を共に大きくすることができる。

さらに、第2サイドコアが有する1つ以上の屈折率極大部のうち屈折率最大部の位置が第2サイドコアの径方向中心部よりも第1サイドコア側と成している構成の光ファイバによれば、実効遮断波長を短波長側にしつつ、負の分散の絶対値と負の分散勾配の絶対値を共に大きい光ファイバの実現をより一層確実に図ることができる。

さらに、第2サイドコアの外周側を内部クラッド部で覆い、該内部クラッド部の外周側を外部クラッドで覆う構成とし、前記内部クラッド部の屈折率を前記外部クラッドの屈折率よりも小さくした構成の光ファイバによれば、内部クラッド部を設けることにより、コア径方向の広い範囲に電界分布を有する LP_{11} モードの光を漏れやすくして実効遮断波長を短波長化し、確実にシングルモード動作可能な光ファイバとしつつ、負の分散の絶対値と負の分散勾配の絶対値を共に大きい光ファイバの実現をより一層確実に図ることができる。

さらに、使用波長帯における波長分散を -120 ps/nm/km 未満とした構成の光ファイバによれば、このように、使用波長帯における

負の波長分散の絶対値を大きくすることにより、短い長さの光ファイバで1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファイバなどの正の分散を補償することができる。

さらに、使用波長帯における波長分散Dを波長分散スロープSで割ったD/S値を0～500 nmとした光ファイバによれば、短い長さの光ファイバで1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファイバなどの光ファイバにおける正の分散を補償することができる。特に、D/S値を0～300 nmとした光ファイバによれば、より一層短い長さの光ファイバで1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファイバなどの正の分散と正の分散スロープを補償することができる。

さらに、使用波長帯を波長1.55 μm 帯とした光ファイバによれば、エルビウムドープ光ファイバを備えた光増幅器を用いた波長多重光伝送用として、この光ファイバを適用することにより、短い長さの光ファイバで1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファイバなどの正の分散や正の分散スロープを補償することができる。

さらに、本発明の光伝送路によれば、上記のような光ファイバを用いることにより、使用波長帯の広帯域において分散や分散スロープをほぼ零にすることができるために、分散による歪みが小さい波長多重伝送用として適した光伝送路とすることができ、特に、使用波長帯における分散スロープと分散値を共にほぼ零とした構成の光伝送路によれば、前記分散と分散スロープを共にほぼゼロとすることにより、分散による歪みが殆どない波長多重伝送用として非常に適した光伝送路とすることができる。

図面の簡単な説明

第1図は、本発明に係る光ファイバの第1実施形態例の屈折率プロフ

ァイルを示す構成図であり、第2図は、本発明に係る光ファイバの第2実施形態例の屈折率プロファイルを示す構成図であり、第3図は、上記第1実施形態例の光ファイバを1.3 μ m帯零分散シングルモード光ファイバに接続して形成される光伝送路の特性例を示すグラフであり、第4図は、上記第1実施形態例の異なる特性を有する2種類の光ファイバを1.3 μ m帯零分散シングルモード光ファイバに接続して形成される光伝送路の特性例を示すグラフであり、第5図は、上記第1実施形態例の光ファイバの具体例(a)と比較例(b)について、光ファイバ中心からクラッドの途中部までの屈折率プロファイルをそれぞれ示す説明図であり、第6図は、単峰型の光ファイバの屈折率プロファイルを示す説明図であり、第7図は、W型の光ファイバの屈折率プロファイルを示す説明図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明をより詳細に説述するために、実施形態例の添付の図面に従ってこれを説明する。なお、以下の各実施形態例の説明において、従来例と同一名称部分には同一符号を付し、その重複説明は省略又は簡略化する。

第1図には、本発明に係る光ファイバの第1実施形態例の屈折率プロファイルが示されている。同図に示されるように、本実施形態例の光ファイバは、センタコア1の外周側を第1サイドコア2で覆い、第1サイドコア2の外周側を第2サイドコア3で覆い、第2サイドコア3の外周側を外部クラッド5で覆って形成されている。外部クラッド5はシリカにより形成されており、センタコア1と第2サイドコア3の各屈折率はシリカの屈折率よりも高く形成され、第1サイドコア2の屈折率はシリカの屈折率よりも低く形成されている。そして、センタコア1の屈折率

(センタコア 1 の屈折率の最大値) n_1 と第 1 サイドコア 2 の屈折率 (第 1 サイドコア 2 の屈折率の最小値) n_2 と第 2 サイドコアの屈折率 (第 2 サイドコアの屈折率の最大値) n_3 と外部クラッド 5 の屈折率 n_c との関係が、 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ と成している。なお、これらの屈折率の値は、真空の屈折率を 1 としたときの値である。

また、クラッドレベルに対するセンタコア 1 の比屈折率差 (すなわち、外部クラッド 5 に対するセンタコア 1 の比屈折率差) を Δ_1 とし、クラッドレベルに対する第 1 サイドコア 2 の比屈折率差 (すなわち、外部クラッド 5 に対する第 1 サイドコア 2 の比屈折率差) を Δ_2 とし、クラッドレベルに対する第 2 サイドコア 3 の比屈折率差 (外部クラッド 5 に対する第 2 サイドコア 3 の比屈折率差) を Δ_3 としたときに、 $1.7\% \leq \Delta_1$ 、 $\Delta_2 \leq -0.3\%$ 、 $0.25\% \leq \Delta_3$ に形成されている。

なお、各比屈折率差 Δ_1 、 Δ_2 、 Δ_3 は、次式 (1) ~ (3) により定義されるものであり、その単位は、% である。

$$\Delta_1 = [\{ (n_1)^2 - (n_c)^2 \} / 2 (n_c)^2] \times 100 \dots \quad (1)$$

$$\Delta_2 = [\{ (n_2)^2 - (n_c)^2 \} / 2 (n_c)^2] \times 100 \dots \quad (2)$$

$$\Delta_3 = [\{ (n_3)^2 - (n_c)^2 \} / 2 (n_c)^2] \times 100 \dots \quad (3)$$

さらに、本実施形態例では、前記センタコアの直径 a_1 を前記第 1 サイドコアの直径 a_2 で割った値 A ($A = a_1 / a_2$) が、 $0.15 \leq A \leq 0.5$ 、第 2 サイドコアの直径 a_3 を第 1 サイドコアの直径 a_2 で割った値 B ($B = a_3 / a_2$) が、 $1 < B \leq 2$ と成している。

以上のような屈折率プロファイルを実現するために、本実施形態例では、センタコア 1 と第 2 サイドコア 3 はゲルマニウムドーブシリカによ

り形成し、第1サイドコア2はフッ素ドープシリカにより形成した。なお、センタコア1、第1サイドコア2にゲルマニウムとフッ素とがドープされたものや、センタコア1、第1サイドコア2、第2サイドコア3にゲルマニウムとフッ素とがドープされたものとしてもよい。

なお、本発明者は、本実施形態例の光ファイバの屈折率プロファイルを上記のように決定するにあたり、まず、W型の屈折率プロファイルの光ファイバのセンタコアとサイドコアとを含むコア径を小径化すると、例えば波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の中心波長である波長 $1.55\mu\text{m}$ における負の分散の絶対値が大きくなることを確認した。そして、さらに、コア径の小径化による問題点、すなわち、センタコアへの光の閉込め効果が弱まり、通光が十分に行なわれなかったり、曲げ損失が非常に大きくなってしまふことを抑制するために、サイドコア（第1サイドコア2）の外周に第1サイドコアよりも屈折率が高い第2サイドコア3を設けることにした。

そして、前記の如く、センタコアの屈折率最大値 n_1 と第1サイドコアの屈折率の最小値 n_2 と第2サイドコアの屈折率の最大値を n_3 と外部クラッドの屈折率 n_c との関係を、 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ とし、次に、センタコアの比屈折率差（外部クラッドの屈折率に対するセンタコアの屈折率） Δ_1 の値の具体化を検討した。その結果、 Δ_1 が1.7%未満であった場合、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯における光ファイバの単位長さ当たりの分散を $-120\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 未満にする（負の分散の絶対値を120よりも大きくする）ことができないし、この波長帯における直径 20mm での曲げ損失が $0.5\text{dB}/\text{m}$ よりも大きくなってしま

0.3%よりも大きいときや、 $\Delta 3$ が0.25%未満のときには、波長1.55 μm 帯において、大きな負の分散あるいは分散勾配が得られなかったり、曲げやマイクロベンドによる伝送損失が増大しやすくなることが分かった。そこで、本実施形態例では、 $\Delta 2 \leq -0.3\%$ 、 $0.25\% \leq \Delta 3$ とした。

さらに、センタコア1の直径 a_1 を第1サイドコア2の直径 a_2 で割った値 A が0.15未満になると、第2サイドコア3がセンタコア1から離れすぎて第2サイドコア3によるコア部への光の閉込め効果を活用することができないことが分かった。具体的には、このようにすると、波長1.55 μm における分散値が、単峰型の屈折率プロファイルの光ファイバのように、 -80 ps/nm/km 程度となった。また、前記 A の値が0.5を越えると、W型の屈折率プロファイルの小径化による、負の分散の絶対値と負の分散スロープの絶対値を共に大きくする効果が得られないことが分かった。そこで、 $0.15 \leq A \leq 0.5$ とした。

さらに、第2サイドコア3の直径 a_3 を第1サイドコア2の直径 a_2 で割った値 B が2よりも大の場合も同様に、第2サイドコア3によるコア部への光の閉込め効果を活用することができないことが分かったため、 $1 < B \leq 2$ とした。

本実施形態例によれば、以上のような検討結果に基づき、光ファイバの屈折率プロファイルとコア径の比を決定したものであるから、例えば波長1.55 μm 帯の中心波長である波長1.55 μm における分散値を -120 ps/nm/km 未満にして、負の分散の絶対値を大きくすることができるし、波長1.55 μm 帯における負の分散スロープの絶対値を大きくすることができる。したがって、短い長さの本実施形態例の光ファイバによって、シングルモード光ファイバの正の波長分散および正の分散スロープを効率的に補償することができる。

また、本実施形態例によれば、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯における曲げ損失を小さくすることができるため、コイル化して用いるのに非常に適した光ファイバとすることができる。

さらに、本実施形態例の光ファイバの屈折率プロファイルは、いわば、第7図のW型の屈折率プロファイルにおける屈折率が低いサイドコア層12の外周に、このサイドコア層12よりも屈折率が高いコア層を設けた構成であるので、この屈折率が低いコア層（第1サイドコア2）の外側のコア層（第2サイドコア3）が、W型の屈折率プロファイルのセンタコアから漏れて伝搬しない状態の光を第2サイドコア3が閉じ込める（クラッド側に逃がさない）ことにより、光がセンタコア1の中心部以外の部分にも広く分布しながら伝搬していくことになり、実質的に実効コア断面積を大きくして、伝搬する光のパワー密度を減ずることができる。また、本実施形態例において、 $\Delta 3$ の絶対値を $\Delta 2$ の絶対値より大きくすると、すなわち $|\Delta 3| > |\Delta 2|$ とすると、負の分散の絶対値と負の分散スロープの絶対値とを共に大きくしたときの他の諸特性が向上するため好ましい。

（具体例）

以下、本実施形態例をより具体化した具体例について説明する。表1には、上記第1実施形態例の具体例1～6として、センタコア1の比屈折率差 $\Delta 1$ 、第1サイドコア2の比屈折率差 $\Delta 2$ 、第2サイドコア3の比屈折率差 $\Delta 3$ 、センタコア1の直径 a_1 、第1サイドコア2の直径 a_2 、第2サイドコア3の直径 a_3 を、それぞれ、前記範囲内で様々に変えたときの光ファイバの特性が示されている。なお、表における（）内の記載は、それぞれの単位を示している。

ここで、表1に示す波長分散は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散値であり、分散勾配は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープ（分散

勾配)であり、 D/S は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散値 D を分散スロープ S で割った D/S 値である。なお、本明細書における D/S 値、すなわち、使用波長帯における波長分散 D を波長分散スロープ S で割った値は、使用波長帯の各波長における波長分散 D を前記各波長における波長分散スロープ S で割った値を示しており、その代表値が、表 1 に示した、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散値 D を波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープ S で割った値である。

(表 1)

	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	a1 (μm)	a2 (μm)	a3 (μm)	波長分散 (ps/km/nm)	分散勾配 (ps/km/nm ²)	D/S (nm)
具体例 1	2.3	-0.45	0.6	3	9.6	12	-187	-0.554	338
具体例 2	2	-0.45	0.8	3.13	10	12.5	-150	-1.410	106
具体例 3	2.8	-0.55	0.8	2.5	8	10	-265	-0.463	573
具体例 4	2.74	-0.56	0.75	2.64	9.4	11.75	-167	-1.017	165
具体例 5	2.76	-0.54	0.82	2.53	8.7	11.43	-215	-0.706	305
具体例 6	1.7	-0.3	0.5	3.375	12	15	-96	-0.637	151

また、表 2 には、比較例として、マッチドクラッド型の単峰構造（第 6 図参照）の屈折率プロファイルの光ファイバ（比較例 1）の構造およ

び特性と、W型（第7図参照）の屈折率プロファイルの光ファイバ（比較例2）の構造および特性が示されている。なお、この表における比較例1の $\Delta 1$ はシリカレベルに対するセンタコア1の比屈折率差、 $\Delta 2$ はシリカレベルに対する外部クラッド5の比屈折率差、 $a 1$ はセンタコア1の直径、 $a 2$ は外部クラッド5の直径をそれぞれ示しており、比較例2の $\Delta 1$ はシリカレベルに対するセンタコア1の比屈折率差、 $\Delta 2$ はシリカレベルに対するサイドコア12の比屈折率差、 $a 1$ はセンタコア1の直径、 $a 2$ はサイドコア12の直径をそれぞれ示している。また、波長分散、分散勾配、 D/S は、表1と同様にして求めた値であり、表2の A_{eff} は、波長1.55 μm 帯における有効コア断面積を示している。

(表2)

	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$a 1$ (μm)	$a 2$ (μm)	波長分散 (ps/km/nm)	分散勾配 (ps/km/nm ²)	D/S (nm)	A_{eff} (μm^2)
比較例1	2.8	-0.4	2.5	125	-78	0.053	-1472	12.1
比較例2	2.0	-0.56	2.6	8.4	-105	-0.345	304	14.8

なお、表2における各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ は、真空の屈折率を1としたときのシリカの屈折率を n_s とし、センタコア1の屈折率を n_1 とし、比較例1においてはクラッド5の屈折率を n_2 とし、比較例2においてはサイドコア12の屈折率を n_2 としたとき、次式(4)、(5)により定義されるものであり、その単位は、%である。

$$\Delta 1 = [\{ (n_1)^2 - (n_s)^2 \} / 2 (n_s)^2] \times 100 \dots$$

(4)

$$\Delta 2 = [\{ (n_2)^2 - (n_s)^2 \} / 2 (n_s)^2] \times 100 \dots \quad (5)$$

表 1 に示すように、具体例 1 ～ 5 の光ファイバは、いずれも、波長 1.55 μm における波長分散が $-120 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 未満となり、波長 1.55 μm 帯における分散スロープは負の値となり、分散スロープの絶対値は比較例 1、2 よりも大きくなった。また、具体例 6 の光ファイバは、波長 1.55 μm における波長分散は $-120 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以上であるが、波長 1.55 μm 帯における負の分散スロープの絶対値が大きい。

このように、具体例 1 ～ 6 に示す本実施形態例の光ファイバは、比較例 1、2 に比べ、波長 1.55 μm における負の分散の絶対値と波長 1.55 μm 帯における負の分散スロープの絶対値の一方又は両方が大きい光ファイバとすることができた。

また、具体例 2、4、6 においては、前記 D/S 値が 0 ～ 300 の小さい値となった。使用波長帯における分散および分散スロープが共に負で、かつ、前記 D/S 値が 0 ～ 300 の小さい光ファイバを用いると、1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファイバ等の波長 1.55 μm 帯における正の分散及び正の分散スロープを共に、短い長さの光ファイバによって補償することができる。

なお、 D/S 値が小さく、かつ、負の分散の絶対値が大きいということは、負の分散の絶対値と負の分散スロープの絶対値が共に大きいことを示しているので、上記効果を奏することができる。そして、 D/S 値は上記範囲内で小さいほど、補償可能なシングルモード光ファイバの分散特性の範囲を拡張することができ、また、シングルモード光ファイバの分散特性の補償手段の範囲を拡張することができる点で好ましいものであるが、例えば D/S 値が、上記範囲よりも大きくても、 D/S 値が

0～500の範囲内であれば、1.3 μ m帯零分散シングルモード光ファイバ等の波長1.55 μ m帯における正の分散及び正の分散スロープを共に、短い長さの光ファイバによって補償することができる。

本発明者が、波長1.55 μ m帯における分散および分散スロープが共に負で、かつ、前記D/S値が小さい光ファイバの具体例として、波長1550nmにおける波長分散が -135.7 ps/nm/km 、波長1.55 μ m帯における分散スロープが $-0.513\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、前記D/S値が約265と成している光ファイバを作製し、この光ファイバを前記シングルモード光ファイバに接続して光伝送路を形成したところ、この光伝送路における波長分散特性は、第3図の実線に示すような特性となった。この光伝送路は、シングルモード光ファイバの長さ \times 光ファイバの長さの比を9:1として形成した。

同図から明らかなように、本実施形態例の光ファイバを用いると、短い長さでシングルモード光ファイバの波長1.55 μ m帯における分散スロープを補償し、分散スロープをほぼ零にすることができ、使用波長域での波長分散偏差を低く抑えられることが分かった。

また、本発明者が、本実施形態例のさらに別の具体例として、波長1550nmにおける波長分散が -171 ps/nm/km 、波長1.55 μ m帯における分散スロープが $-0.851\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、前記D/S値が約200と成している光ファイバAと、波長1550nmにおける波長分散が -196 ps/nm/km 、波長1.55 μ mにおける分散スロープが $-0.109\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、前記D/S値が約1798と成している光ファイバBをそれぞれ作製し、これらの光ファイバAとBを前記シングルモード光ファイバに接続して光伝送路を形成したところ、この光伝送路の波長分散特性は第4図の実線に示すものとなった。

なお、この光伝送路は、長さが16 kmの前記シングルモード光ファイバと、長さが1 kmの光ファイバAと、長さが0.555 kmの光ファイバBを接続して形成した。同図から明らかなように、本実施形態例の光ファイバを用いると、短い長さの光ファイバで前記シングルモード光ファイバの波長1.55 μ m帯における波長分散と分散スロープを共に補償し、分散スロープをほぼ零（分散スロープの絶対値を ± 0.01 以下）にできるし、分散値もほぼ零にできることが分かった。

なお、長さが16 kmの前記シングルモード光ファイバを、第7図に示すW型の屈折率プロファイルの光ファイバのみで補償しようとする、2.7 kmの光ファイバが必要となることから、本実施形態例の光ファイバを用いることにより、必要とする光ファイバの長さを4割も短くすることができ、それにより、光ファイバを用いた分散補償器の小型化や光ファイバ内で生じる非線形現象の低減化も図ることができる。

表3には、本実施形態例のさらに別の具体例として、波長1.55 μ m帯における有効コア断面積 A_{eff} を拡大した光ファイバの例（具体例7, 8）が示されている。なお、表3において、比屈折率差 $\Delta 1 \sim \Delta 3$ は、前記式（1）～（3）により求めた。また、表3における波長分散、分散勾配、 D/S 、 A_{eff} の値は、表1、2と同様にして求めた値である。

（表3）

	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	$a1$ (μm)	$a2$ (μm)	$a3$ (μm)	波長分散 (ps/km/nm)	A_{eff} (μm^2)
具体例 7	2.8	-0.55	0.96	2.2	7.3	10.2	-90	115
具体例 8	2.3	-0.45	0.75	2.6	8.4	10.5	-110	82

この具体例によれば、前記比較例 1, 2 に比べ、波長 1.55 μm 帯における有効コア断面積を格段に大きくすることができ、それにより、非線形現象による歪みを低減することができる。

表 4 には、本実施形態例のさらに別の具体例として、第 5 図の (a) に示すように、第 2 サイドコア 3 が屈折率極大部を有して、この屈折率極大部における屈折率最大部 3 a の位置を第 2 サイドコア 3 の径方向の幅中心部 (図の C) よりも第 1 サイドコア 2 側寄りと成した具体例 9 a、9 b の光ファイバの特性が示されている。

(表 4)

	ピーク位置	実効遮断 波長 (nm)	分散 (ps/km/nm)	分散勾配 (ps/km/nm ²)	D/S (nm)
具体例 9 a	0. 0 7	1 5 2 9	-1 8 5. 2	-1. 1 8 6	1 5 6. 2
具体例 9 b	0. 3 1	1 5 2 3	-2 1 4. 1	-0. 9 7 5	2 1 9. 6
比較例 3	0. 5 1	1 5 1 5	-2 8 8. 4	0. 4 1 2	-7 0 0. 0
比較例 4	0. 9 6	1 5 2 6	-1 4 0. 3	1. 9 1 6	-7 3. 2
比較例 5		1 5 1 9	-3. 3	0. 1 5 2	-2 1. 8

なお、表 4 に示す波長分散は、波長 1. 5 5 μm における波長分散値であり、分散勾配は、波長 1. 5 5 μm における分散スロープ（分散勾配）であり、D/S は、波長 1. 5 5 μm における分散値 D を分散スロープ S で割った D/S 値である。また、表 4 に示すピーク位置とは、第

5図の(a)に示すように、第2クラッド3の屈折率極大最大部3aの位置を、第1サイドコア2と第2サイドコア3との界面位置を0、第2サイドコア3と外部クラッド5との界面位置を1として示したものである。

また、表4には、比較例3、4として、第2サイドコア3の屈折率極大部における屈折率最大部の位置を第2サイドコア3の径方向幅中心部(図のC)よりも外部クラッド5側寄りとした光ファイバの特性と、比較例5として、第5図の(b)に示すように、第2サイドコア3が屈折率極大部をもたない平坦な屈折率分布の光ファイバの特性も共に示されている。

なお、表4に示す各光ファイバについて、具体的な屈折率プロファイルは示されていないが、いずれも、第1実施形態例で定めた屈折率プロファイルの範囲内で、実効遮断波長が1550nm未満になるように屈折率プロファイルを決定したものである。

本発明者は、上記屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ および、センタコア1の直径 a_1 と第1サイドコア2の直径 a_2 と第2サイドコア3の直径 a_3 の各パラメータを、第1実施形態例で特定した範囲内で設定することにより、例えば波長1.55 μm 帯といった使用波長帯における単位長さあたりの負の分散の絶対値と負の分散スロープの絶対値を共に大きくし、短い長さでシングルモード光ファイバの正の分散を前記使用波長帯の広帯域において補償できるようにしようとしたときに、上記それぞれのパラメータの設定値によっては実効遮断波長が使用波長帯よりも長波長側になってしまう場合もあることを知った。

そこで、本発明者は、実効遮断波長を使用波長帯よりも短波長側にしてシングルモード動作可能とするために、様々な検討を行ない、具体例9a、9bに示すように、第2サイドコア3の屈折率最大部3aの位置

を第2サイドコア3の径方向幅中心部（図のC）よりも第1サイドコア2側寄りにすることにより、実効遮断波長を短波長側にして、かつ、前記の如く、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯といった使用波長帯における単位長さあたりの負の分散の絶対値と負の分散スロープの絶対値を共に大きくできることを見出した。

この理由を、本発明者は以下のように考察している。すなわち、光ファイバの伝搬モードのうち、 LP_{0m} ($m=2, 3, \dots$) あるいは LP_{11} モードは光ファイバ径方向の広い範囲に電界分布を有するものであるため、第2サイドコア3の屈折率最大部を第2サイドコア3の径方向幅中心部よりも第1サイドコア2側寄りとすることにより、光ファイバを伝搬する光の LP_{01} モードへの影響を小さくとどめながら、上記 LP_{0m} モードや LP_{11} モードへの光が伝搬しないようにして、シングルモード動作できるようになるものと考察している。

具体例9a、9bは、この検討に基づいて構成パラメータを決定したものであり、したがって、具体例9a、9bについても、表4に示したように、上記優れた効果を奏することができる。

なお、表4に示した結果について、補足すると、比較例3、4は、第2サイドコア3の屈折率最大部3aの位置を表4のように設定したうえで、実効遮断波長が 1550nm 未満になるように屈折率プロファイルを決定したことによって、表4に示すように分散勾配が正の値になってしまっており、比較例4においては、分散値の絶対値も小さくなっている。また、比較例5は、第5図の（b）に示す屈折率プロファイルにより、実効遮断波長が 1550nm 未満になるように屈折率プロファイルを決定したことによって、同様に、分散勾配が正の値になってしまい、分散値の絶対値は非常に小さくなっている。

それに対し、具体例9a、9bは上記優れた効果を奏するものであり

、第2サイドコア3の屈折率極大最大部3aの位置を第2サイドコア3の半径方向幅中心部よりも第1サイドコア2側寄りの適宜の位置にすることにより、所望の特性を得ることができる。

次に、本発明に係る光ファイバの第2実施形態例について説明する。第2図には、第2実施形態例の屈折率プロファイルが示されている。第2実施形態例は上記第1実施形態例とほぼ同様に構成されており、第2実施形態例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、第2サイドコア3の外周側を内部クラッド部4で覆い、内部クラッド部4の外周側を外部クラッド5で覆う構成とし、内部クラッド部4の屈折率を外部クラッド5の屈折率 n_c よりも小さくしたことである。

なお、内部クラッド部4の屈折率は n_4 であり（真空の屈折率を1としたときの値で示す）、外部クラッド5に対する内部クラッド部4の比屈折率差を Δ_4 とすると、 $\Delta_4 > \Delta_2$ と成している。 Δ_4 は、次式(6)により定義される。

$$\Delta_4 = \left[\{ (n_4)^2 - (n_c)^2 \} / 2 (n_c)^2 \right] \times 100 \dots \quad (6)$$

第2実施形態例は以上のように構成されており、その特徴的なことは、第2サイドコア3の外周側に屈折率が低い内部クラッド部4を設けることにより、コア径方向の広い範囲に電界分布を有する LP_{11} モードを漏れやすくし、実効遮断波長（カットオフ波長）を短波長化するようにしたことである。

本発明のように、屈折率が低い第1サイドコア2の周りに屈折率が高い第2サイドコア3を設けた場合、高負分散、高負分散勾配は実現されるが、光ファイバの屈折率プロファイルによっては、実効遮断波長が長波長化してしまうものもある。そうすると、光ファイバがシングルモード動作できなくなるため、実効遮断波長の長波長化を確実に抑制するた

めに、前記の如く第2サイドコア3の外周側に屈折率が低い内部クラッド部4を設けることにより、実効遮断波長を短波長化するようにし、光ファイバがシングルモード動作しやすいように屈折率プロファイルが決定されている。

(具体例)

表5には、第2実施形態例の具体例として、具体例11の光ファイバの構成および特性が、内部クラッド部4を有していない、上記第1実施形態例の光ファイバの具体例10と共に示されている。なお、比屈折率差 $\Delta 1 \sim \Delta 3$ は、前記式(1)～(3)により求めた。また、表5における波長分散、分散勾配、 D/S 、 A_{eff} の値は、表1、2と同様にし求めた値である。

(表5)

	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	$\Delta 4$ (%)	a1 (μm)	a2 (μm)	a3 (μm)	a4 (μm)	波長分散 (ps/km/nm)	分散勾配 (ps/km/nm ²)	D/S (nm)	A _{eff} (μm^2)	実効遮断 波長 (nm)
具体例 10	2.83	-0.59	0.72	無し	2.86	10.2	12.7	無し	-200	-1.185	168	16	1621
具体例 11	2.83	-0.59	0.72	-0.08	2.85	10.1	12.7	19	-203	-1.037	195	18	1468

この表 5 から明らかなように、内部クラッド部 4 を設けることにより

、実効遮断波長を短波長化することができ、さらに、 A_{eff} も大きくすることができた。なお、第2サイドコア3の外周側に屈折率が低い内部クラッド部4を設ける場合、第2サイドコア3の極大最大部3aは必ずしも第2サイドコア3の径方向幅中心部Cより第1サイドコア2側寄りとする必要がないが、効遮断波長をより一層短波長化し、かつ、 A_{eff} のさらなる大径化を図る上では、第2サイドコア3の極大最大部3aは第2サイドコア3の径方向幅中心部Cより第1サイドコア2側寄りとすることが望ましい。

本発明は上記各実施形態例に限定されることはなく、様々な実施の態様を採り得る。例えば、第4図に示したデータは、前記 D/S 値が0～300の値と成している本発明の光ファイバと、前記 D/S 値が300より大きい光ファイバとを前記シングルモード光ファイバに接続して形成したが、光伝送路を、前記 D/S 値が0～300の値と成している本発明の光ファイバと、前記 D/S 値が負の光ファイバとを前記シングルモード光ファイバに接続して形成し、それにより、第4図に示したように、使用波長帯における分散スロープと分散値を共にほぼ零としてもよい。また、使用波長帯における分散スロープのみをほぼ零としてもよい。また、本発明の光ファイバと接続されるシングルモード光ファイバは、使用波長帯より短波長側に零分散波長を有するものであればよく、例えば、使用波長帯において微小分散を有する分散シフト光ファイバ等であってもよい。

さらに、上記各実施形態例において、第1図、第2図、第5図にそれぞれ示したように、第2サイドコア3は1つの屈折率極大部を有していたが、2つ以上の屈折率極大部を有していてもよい。この場合も、複数の屈折率極大部のうち屈折率最大部の位置を第2サイドコア3の径方向幅中心部よりも第1サイドコア2側寄りと成すことにより、具体例9a

、9 bに示したような、実効遮断波長を短波長側にしつつ、負の分散の絶対値と負の分散勾配の絶対値を共に大きい光ファイバの実現を図ることができる。

産業上の利用可能性

以上のように本発明に係る光ファイバは、使用波長帯より短波長側、例えば1.3 μm の波長帯に零分散を持つシングルモード光ファイバを伝搬する波長1.55 μm 帯の光信号の正の分散と正の分散スロープを短いファイバ長で補償するのに適している。また、本発明に係る光伝送路は、波長多重の各波長光（特に1.55 μm 帯の波長光）に対して受信側でほぼ零分散を可能とし、非線形現象を抑制し、伝搬特性に優れた、高速大容量の高品質波長多重通信の光伝送路として適している。

請 求 の 範 囲

1. センタコアの外周側を第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの外周側を第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの外周側を外部クラッドで覆って形成される光ファイバであって、前記センタコアの屈折率の最大値を n_1 とし、前記第1サイドコアの屈折率の最小値を n_2 とし、前記第2サイドコアの屈折率の最大値を n_3 とし、前記外部クラッドの屈折率を n_c としたとき、 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ と成しており、前記外部クラッドに対する前記センタコアの比屈折率差を Δ_1 とし、前記外部クラッドに対する前記第1サイドコアの比屈折率差を Δ_2 とし、前記外部クラッドに対する前記第2サイドコアの比屈折率差を Δ_3 としたときに、 $1.7\% \leq \Delta_1$ 、 $\Delta_2 \leq -0.3\%$ 、 $0.25\% \leq \Delta_3$ と成し、前記センタコアの直径 a_1 を前記第1サイドコアの直径 a_2 で割った値 A が $0.15 \leq A \leq 0.5$ 、前記第2サイドコアの直径 a_3 を前記第1サイドコアの直径 a_2 で割った値 B が $1 < B \leq 2$ と成していることを特徴とする光ファイバ。
2. 第2サイドコアは1つ以上の屈折率極大部を有し、この1つ以上の屈折率極大部のうち屈折率最大部の位置が第2サイドコアの径方向の幅中心部よりも第1サイドコア側寄りと成していることを特徴とする請求の範囲第1項記載の光ファイバ。
3. 第2サイドコアの外周側を内部クラッド部で覆い、該内部クラッド部の外周側を外部クラッドで覆う構成とし、前記内部クラッド部の屈折率を前記外部クラッドの屈折率よりも小さくしたことを特徴とする請求の範囲第1項記載の光ファイバ。
4. 第2サイドコアの外周側を内部クラッド部で覆い、該内部クラッド部の外周側を外部クラッドで覆う構成とし、前記内部クラッド部の屈折

率を前記外部クラッドの屈折率よりも小さくしたことを特徴とする請求の範囲第2項記載の光ファイバ。

5. 使用波長帯における波長分散を -120 ps/nm/km 未満としたことを特徴とする請求の範囲第1項記載の光ファイバ。

6. 使用波長帯における波長分散を -120 ps/nm/km 未満としたことを特徴とする請求の範囲第2項記載の光ファイバ。

7. 使用波長帯における波長分散を -120 ps/nm/km 未満としたことを特徴とする請求の範囲第3項記載の光ファイバ。

8. 使用波長帯における波長分散を -120 ps/nm/km 未満としたことを特徴とする請求の範囲第4項記載の光ファイバ。

9. 使用波長帯における波長分散 D を波長分散スロープ S で割った D/S 値を $0 \sim 500 \text{ nm}$ としたことを特徴とする請求の範囲第1項乃至第8項のいずれか一つに記載の光ファイバ。

10. 使用波長帯における波長分散 D を波長分散スロープ S で割った D/S 値を $0 \sim 300 \text{ nm}$ としたことを特徴とする請求の範囲第1項乃至第8項のいずれか一つに記載の光ファイバ。

11. 使用波長帯は波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯としたことを特徴とする請求の範囲第5項記載の光ファイバ。

12. 使用波長帯は波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯としたことを特徴とする請求の範囲第6項記載の光ファイバ。

13. 使用波長帯は波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯としたことを特徴とする請求の範囲第7項記載の光ファイバ。

14. 使用波長帯は波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯としたことを特徴とする請求の範囲第8項記載の光ファイバ。

15. 使用波長帯は波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯としたことを特徴とする請求の範囲第9項記載の光ファイバ。

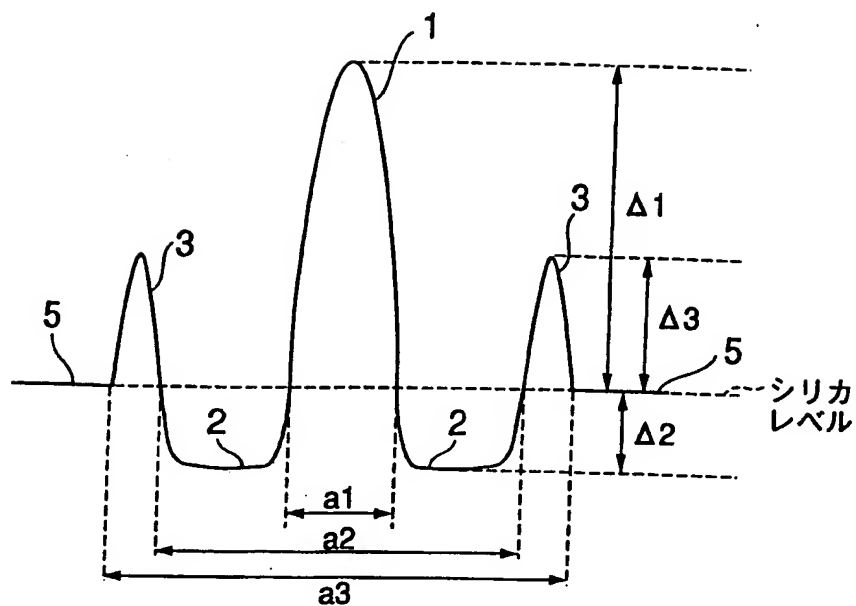
16. 使用波長帯は波長 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯としたことを特徴とする請求の範囲第10項記載の光ファイバ。

17. 使用波長帯よりも短波長側の波長帯に零分散をもつシングルモード光ファイバに請求の範囲第1項乃至第16項のいずれか一つに記載の光ファイバを接続することにより使用波長帯における分散スロープをほぼ零としたことを特徴とする光伝送路。

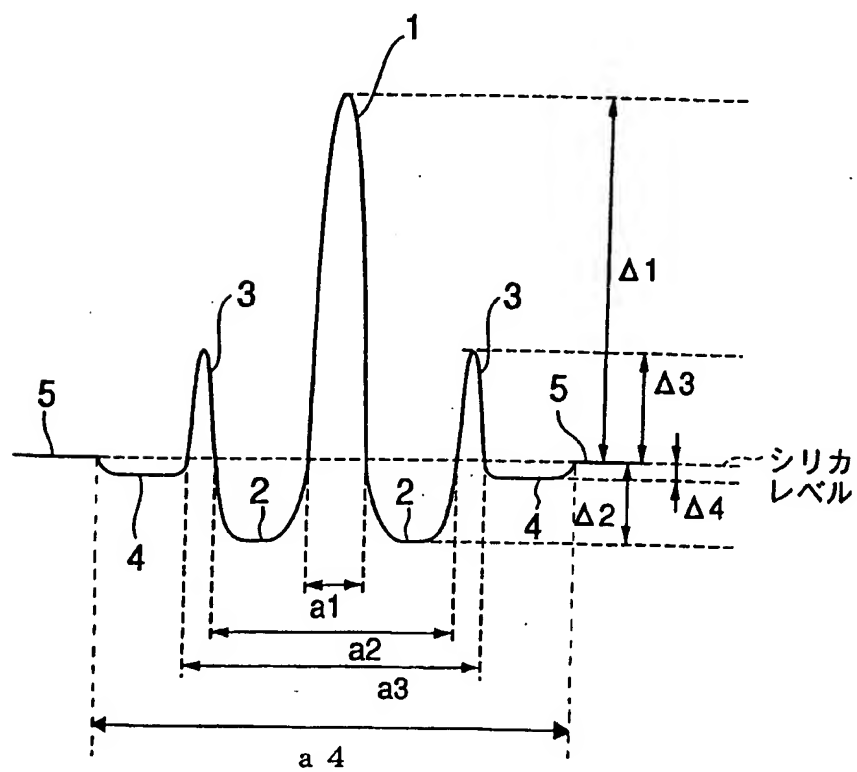
18. 使用波長帯よりも短波長側の波長帯に零分散をもつシングルモード光ファイバに、請求の範囲第1項乃至第16項のいずれか一つに記載の光ファイバと、使用波長帯における波長分散 D を波長分散スロープ S で割った D/S 値が $300\ \text{nm}$ より大きい光ファイバ又は前記 D/S 値が負の光ファイバとを接続することにより使用波長帯における分散スロープと分散値を共にほぼ零としたことを特徴とする光伝送路。

1 / 4

第1図

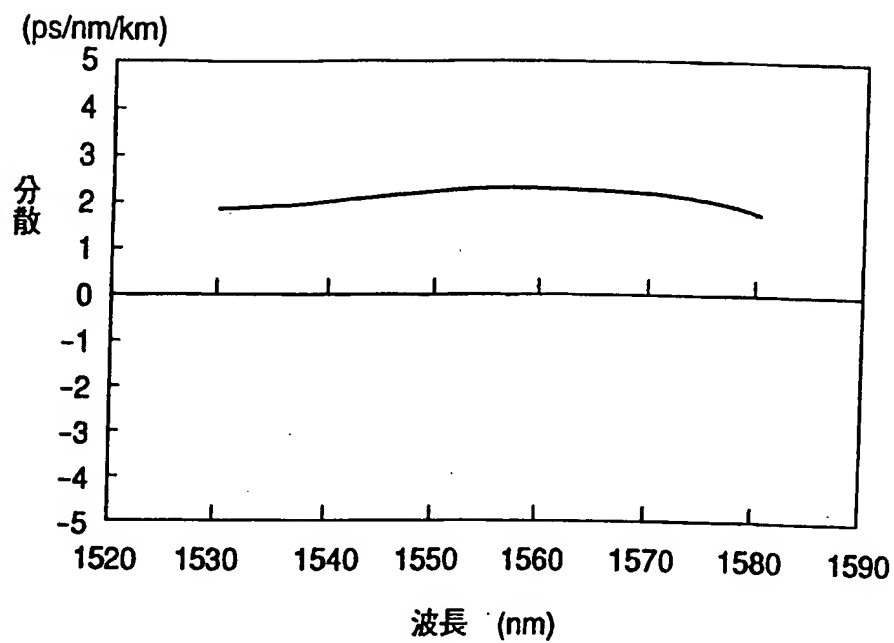


第2図

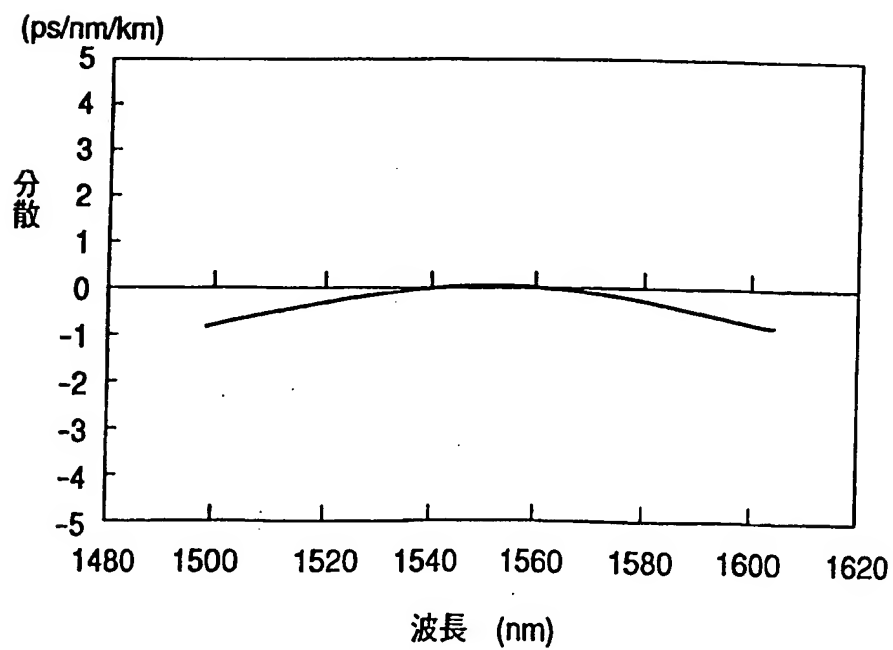


2 / 4

第3図

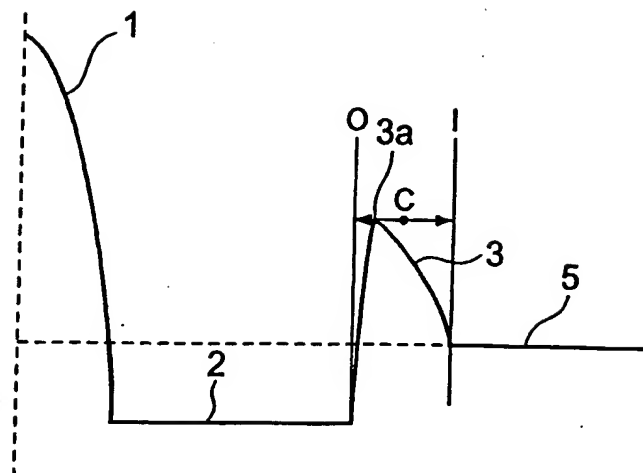


第4図

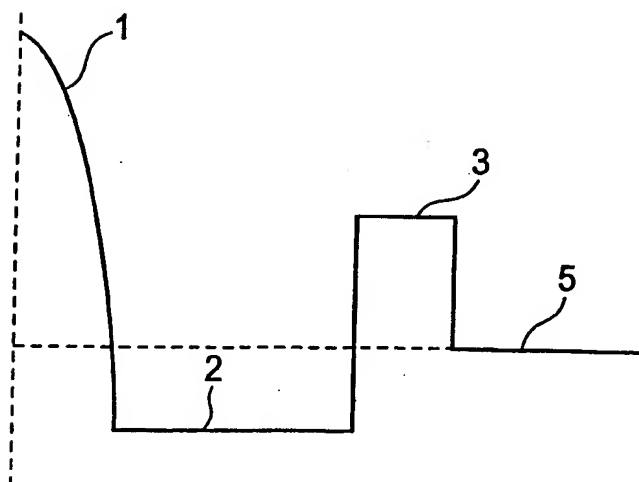


第5図

(a)

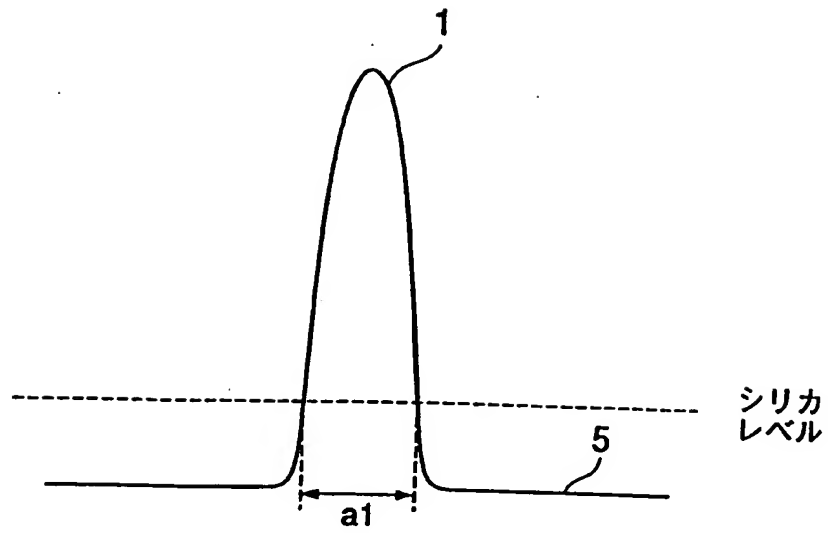


(b)

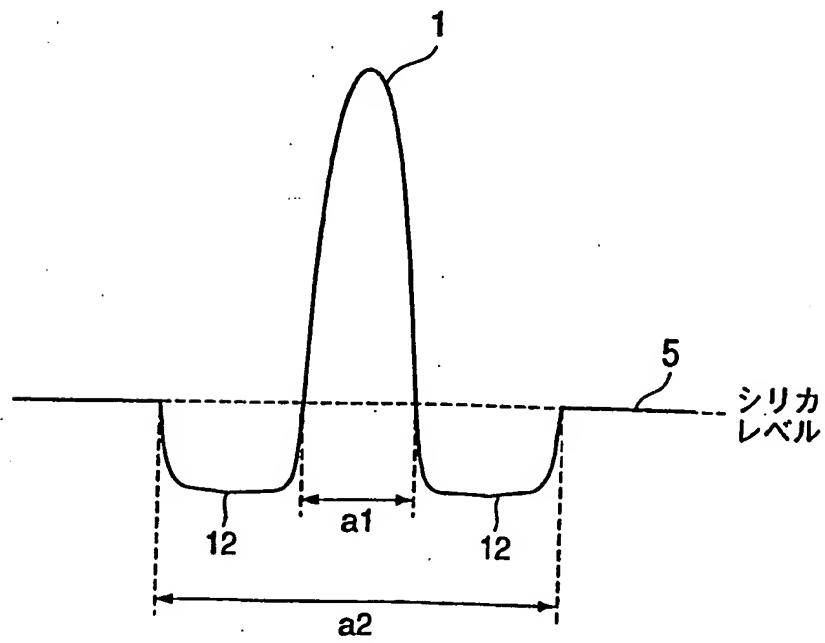


4 / 4

第6図



第7図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/03148

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B 6/22, 6/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B 6/22, 6/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO, 98/04941, A1 (CORNING INC.), 05 February, 1998 (05.02.98), Table 1,2; Figs. 1-3; especially, see Index 6 in Table 1 and Index 22-23 in Table 2	1-2, 5-6, 9-12, 15-18
Y	Claim 4-6; Table 1; Figs. 1,3 & JP, 11-507445, A & EP, 857313, A1	3-4, 7-8, 13-14
X	EP, 598554, A1 (AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH COMPANY), 25 May, 1994 (25.05.94), Figs. 1-5 & JP, 6-222235, A	1,5, 9-11, 15-18 3, 7, 13
X	US, 5448674, A (VENGSARKAR ANISH M.), 05 September, 1995 (05.09.95) & JP, 7-270636, A & EP, 668520, A2	1,5, 9-11, 15-18 3, 7, 13
X	JP, 10-319266, (Fujikura Ltd.), 04 December, 1998 (04.12.98), Par. No. 30; Tables 1; Figs. 1,2 (Family: none)	1,5, 9-11, 15-18 3, 7, 13

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
14 August, 2000 (14.08.00)

Date of mailing of the international search report
29 August, 2000 (29.08.00)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/03148

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	VENGSARKAR A. M. ET AL.: Dispersion-compensating single-mode fibers: efficient designs for first- and seconde-order compensation; OPTICS LETTERS, 01 JUNE 1993, VOL.18, NO.11, pp.924-926	1,5,9-11,15-18 3,7,13
X Y	SEMENOV V. A. ET AL.: Broadband dispersion-compensating firber for high-bit-rate transmission network use; APPLIED OPTICS, 20 August 1995, Vol.34, No.24, pp.5331-5337	1,5,9-11,15-18 3,7,13
Y	US, 4715679, A (BHAGAVATULA VENKATA A.), 29 December, 1987 (29.12.87) & JP, 58-104040, A & JP, 59-226301, A & EP, 127408, A	3-4,7-8, 13-14
A	US, 5361319, A (ANTOS A. JOSEPH), 01 November, 1994 (01.11.94), figs. 8,8a & JP, 6-11620, A & EP, 554714, A	1-18
A	US, 5838867, A (ONISHI MASASHI), 17 November, 1998 (17.11.98), Figs. 5-9, Fig. 11 & JP, 10-39155, A	1-18
P,Y	WO, 00/17684, A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 30 March, 2000 (30.03.00) (Family: none)	1-18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 6/22, 6/16

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 6/22, 6/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年
 日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	WO, 98/04941, A1 (CORNING INC.), 5.2月.1998(05.02.98), Table 1,2; FIG.1-3; 特に、Table 1のIndex 6, Table 2のIndex 22-23を参照.	1-2, 5-6, 9-12, 15-18
Y	Claim 4-6; Table 1; Fig.1,3 & JP, 11-507445, A&EP, 857313, A1	3-4, 7-8, 13-14

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14.08.00

国際調査報告の発送日

29.08.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

福田 聡

2K 9514

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	EP, 5 9 8 5 5 4, A 1 (AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH COMPANY), 25.5月.1994(25.05.94), Fig.1-5 & JP, 6-2 2 2 2 3 5, A	1, 5, 9-11, 15-18 3, 7, 13
X Y	US, 5 4 4 8 6 7 4, A (VENGSAKAR ANISH M.), 5.9月.1995(05.09.95) & JP, 7-2 7 0 6 3 6, A & EP, 6 6 8 5 2 0, A 2	1, 5, 9-11, 15-18 3, 7, 13
X Y	JP, 1 0 - 3 1 9 2 6 6, (株式会社フジクラ), 4.12月.1998(04.12.98), 第30段落; 表1; 第1, 2図 (ファミリーなし)	1, 5, 9-11, 15-18 3, 7, 13
X Y	VENGSAKAR A. M. ET AL.: Dispersion-compensating single-mode fibers: efficient designs for first- and second-order compensation; OPTICS LETTERS, 1 JUNE 1993, VOL.18, NO.11, pp.924-926	1, 5, 9-11, 15-18 3, 7, 13
X Y	SEMENTOV V. A. ET AL.: Broadband dispersion-compensating fiber for high-bit-rate transmission network use; APPLIED OPTICS, 20 August 1995, Vol.34, No.24, pp.5331-5337	1, 5, 9-11, 15-18 3, 7, 13
Y	US, 4 7 1 5 6 7 9, A (BHAGAVATULA VENKATA A.), 29.12月.1987(29.12.87) & JP, 5 8 - 1 0 4 0 4 0, A & JP, 5 9 - 2 2 6 3 0 1, A & EP, 1 2 7 4 0 8, A	3-4, 7-8, 13-14
A	US, 5 3 6 1 3 1 9, A (ANTOS A. JOSEPH), 1.11月.1994(01.11.94), fig.8, 8a & JP, 6-1 1 6 2 0, A & EP, 5 5 4 7 1 4, A	1-18
A	US, 5 8 3 8 8 6 7, A (ONISHI MASASHI), 17.11月.1998(17.11.98), Fig.5-9, Fig.11 & JP, 1 0 - 3 9 1 5 5, A	1-18
P, Y	WO, 0 0 / 1 7 6 8 4, A 1 (住友電気工業株式会社), 30.3月.2000(30.03.00) (ファミリーなし)	1-18